

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: ARMIN DOELKER
Serial No.: NOT YET ASSIGNED
Filed: OCTOBER 17, 2003
Title: METHOD FOR ROTATIONAL SPEED CONTROL FOR A
DRIVE UNIT
Confirmation No.:
Customer No.: 23911

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. §119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

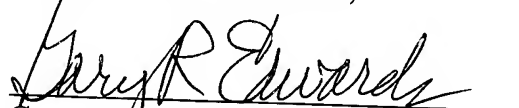
October 17, 2003

Sir:

The benefit of the filing date of prior foreign application No. 102 48 633.6 filed in Germany, on 18 October 2003 (18.10.2003), is hereby requested and the right of priority under 35 U.S.C. §119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of the original foreign application.

Respectfully submitted,



Gary R. Edwards
Registration No. 31,824

CROWELL & MORING, LLP
Intellectual Property Group
P.O. Box 14300
Washington, DC 20044-4300
Telephone No.: (202) 624-2500
Facsimile No.: (202) 628-8844
GRE:kms



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 48 633.6

Anmeldetag: 18. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: MTU Friedrichshafen GmbH
Friedrichshafen/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Drehzahl-Regelung
einer Antriebseinheit

IPC: F 02 D 45/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office.

MTU Friedrichshafen GmbH

17.10.2002

5

Zusammenfassung

Die Erfindung schlägt ein Verfahren zur Regelung einer An-
triebseinheit, insbesondere Brennkraftmaschinen-Generator-
Einheit (1), vor. Die Erfindung sieht vor, dass neben einem
ersten und zweiten Regler ein dritter Regler zur Berechnung
einer dritten Einspritzmenge angeordnet wird. Aus einer Fül-
lungs-Vorgabe (FÜLL) wird eine Füllungs-Einspritzmenge
(QFÜLL) berechnet. Diese wird mit der Einspritzmenge des do-
minanten Reglers (11, 12, 13) verglichen. In Abhängigkeit des
Vergleichs wird die Dominanz des Reglers beibehalten oder die
Füllungs-Vorgabe (FÜLL) als dominant für ein leistungsbestim-
mende Signal (ve) gesetzt. Durch die Erfindung wird der Vor-
teil eines schnellen Übergangs mit geringer Überschwingweite
erzielt.

Figur 6

25

30

35

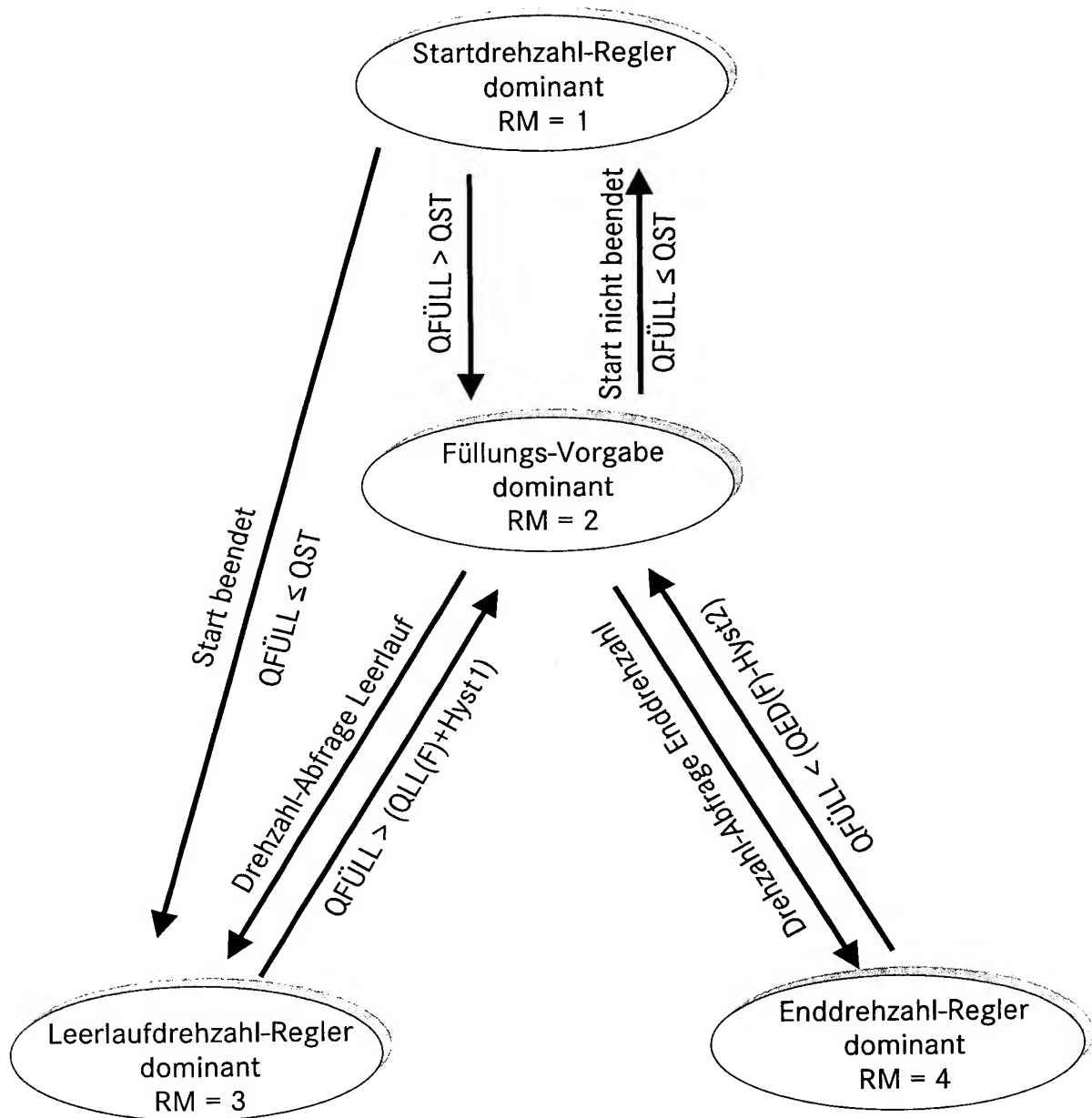


Fig. 6

MTU Friedrichshafen GmbH

17.10.2002

5

Verfahren zur Drehzahl-Regelung einer Antriebseinheit

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Drehzahl-Regelung einer Antriebseinheit, insbesondere Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit, nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Zur Drehzahl-Regelung einer Antriebseinheit sind ein erster
15 Drehzahl-Regler zur Regelung der Leerlauf-Drehzahl und ein zweiter Drehzahl-Regler zur Regelung einer Enddrehzahl vorgesehen. Unter dem Begriff Antriebseinheit sind sowohl eine Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit als auch eine Brennkraftmaschinen-Getriebe-Einheit zu verstehen. Die Drehzahl
20 der Antriebseinheit wird geregelt, indem der dominante Regler aus einem Soll-Ist-Vergleich eine Stellgröße berechnet, z. B. eine Einspritzmenge. Problematisch bei einer derartigen Regelkreis-Struktur sind die Reaktionszeiten bei einer sprungförmigen Last-Änderung sowie der Übergang vom ersten auf den
25 zweiten Regler bzw. vice versa. Hierbei können unerwünschte Überschwingungen auftreten.

Eine Verbesserung dieser Problematik ist aus der
DE 197 11 787 A1 bekannt. Bei kleinen Regelabweichungen ist
30 der erste Regler dominant. Bei großen Regelabweichungen ist der zweite Regler dominant. Zur Verringerung der Überschwingungen wird beim Übergang vom zweiten auf den ersten Regler der integrierende Anteil des ersten Reglers initialisiert. Beide Regler berechnen unabhängig von der Dominanz gleichzeitig
35 jeweils ihre Stellgrößen. Dies bedeutet einen hohen Rechneraufwand. Ebenfalls problematisch ist, dass der Betreiber der Antriebseinheit außer über die Sollwert-Vorgabe keinen

unmittelbaren Einfluss ausüben kann, z. B. beim Start-Betrieb.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur
5 Drehzahl-Regelung einer Antriebseinheit bereitzustellen, bei
dem der Start-Betrieb mitberücksichtigt wird.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale von Anspruch 1 gelöst.
Die Ausgestaltungen hierzu sind in den Unteransprüchen darge-
10 stellt.

Zur Drehzahl-Regelung des Startvorgangs sieht die Erfindung
einen dritten Regler zur Berechnung einer dritten Einspritz-
menge vor. Der Benutzer der Antriebseinheit kann über eine
15 Füllungs-Vorgabe unmittelbar eingreifen. Hierzu wird aus der
Füllungs-Vorgabe eine Füllungs-Einspritzmenge berechnet und
mit der Einspritzmenge des dominanten Reglers verglichen. In
Abhängigkeit des Vergleichs wird entweder die Dominanz des
Reglers beibehalten oder die Füllungs-Vorgabe als dominant
20 für ein leistungsbestimmendes Signal gesetzt. Als leistungs-
bestimmendes Signal ist im Sinne der Erfindung eine Ein-
spritzmenge oder der Regelweg einer Regelstange zu verstehen.

Die Erfindung sieht vor, dass die nicht dominanten Regler de-
25 aktiviert werden. Nur der dominante Regler ist aktiv. Hier-
durch wird neben einer klaren Software-Struktur zusätzlich
der Vorteil erzielt, dass Rechner-Kapazität frei wird.

Bei einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit entspricht
30 der erste Regler einem Leerlaufdrehzahl-Regler, der zweite
Regler einem Enddrehzahl-Regler und der dritte Regler einem
Startdrehzahl-Regler. Die erste Einspritzmenge entspricht der
Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge, die zweite Einspritzmenge
entspricht der Enddrehzahl-Einspritzmenge und die dritte Ein-
35 spritzmenge einer Startdrehzahl-Einspritzmenge. Bei dominan-
ter Füllungs-Vorgabe wird in Abhängigkeit der Ist-Drehzahl

der Antriebseinheit geprüft, ob der Leerlaufdrehzahl- oder der Enddrehzahl-Regler aktiviert wird. Beim Wechsel, beispielsweise zum Leerlaufdrehzahl-Regler, wird dessen integrierender Anteil (I-Anteil) initialisiert. Durch die Initialisierung des I-Anteils werden geringe Überschwingweiten beim Übergang erzielt.

Während des Start-Vorgangs ist zunächst der Startdrehzahl-Regler dominant. Auch während des Start-Vorgangs wird geprüft, ob die Füllungs-Einspritzmenge größer als die Startdrehzahl-Einspritzmenge wird. In Abhängigkeit dieses Vergleichs wird mit Erkennen einer Startende-Bedingung der Leerlaufdrehzahl-Regler oder die Füllungs-Vorgabe als dominant gesetzt. Durch die Möglichkeit der Füllungs-Vorgabe bereits im Start-Betrieb wird ein schnellerer Hochlauf der Antriebseinheit bewirkt.

In den Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt. Es zeigen:

20

Fig. 1 ein Systemschaubild

Fig. 2 ein Blockschaltbild Berechnung Füllungs-Einspritzmenge

Fig. 3,4,5 eine Regelkreisstruktur

25 Fig. 6 ein Zustandsdiagramm

Fig. 7 einen Ablaufplan zum Start-Betrieb

Fig. 8 einen Ablaufplan zum Unterprogramm Leerlaufdrehzahl-Regler

Fig. 9 einen Ablaufplan zum Unterprogramm Füllung

30 Fig. 10 einen Ablaufplan zum Unterprogramm Enddrehzahl-Regler

Fig. 11A,B,C einen Ablaufplan zur Initialisierung des Leerlaufdrehzahl-Reglers

Fig. 12 einen Ablaufplan zur Initialisierung Enddrehzahl-Regler

35

Fig. 13 ein Zeitdiagramm

Die Figur 1 zeigt ein Systemschaubild des Gesamtsystems einer Antriebseinheit, beispielsweise einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit 1. Diese bestehend aus einer Brennkraftmaschine 2 mit einem Generator 4. Die Brennkraftmaschine 2 treibt über eine Welle mit einem Übertragungsglied 3 den Generator 4 an. In der Praxis kann das Übertragungsglied 3 einen Freilauf enthalten. Bei der dargestellten Brennkraftmaschine 2 wird der Kraftstoff über ein Common-Rail-System eingespritzt. Dieses umfasst folgende Komponenten: Pumpen 7 mit Saugdrossel zur Förderung des Kraftstoffs aus einem Kraftstofftank 6, ein Rail 8 zum Speichern des Kraftstoffs und Injektoren 10 zum Einspritzen des Kraftstoffs aus dem Rail 8 in die Brennräume der Brennkraftmaschine 2.

Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 2 wird durch ein elektronisches Steuergerät (EDC) 5 geregelt. Das elektronische Steuergerät 5 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bausteine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 2 relevanten Betriebsdaten in Kennfeldern/Kennlinien appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 5 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: ein Raildruck p_{CR} , der mittels eines Rail-Drucksensors 9 gemessen wird, ein Ist-Drehzahl-Signal $n_M(IST)$ der Brennkraftmaschine 2, eine Eingangsgröße E und ein Signal FÜLL zur Füllungs-Vorgabe für die Antriebseinheit. Die Füllungs-Vorgabe FÜLL wird durch den Betreiber vorgegeben. Bei einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit kann dies ein analoges Signal sein. Über die Füllungs-Vorgabe FÜLL kann der Betreiber unmittelbar auf die An-

triebseinheit einwirken. Bei einer Fahrzeug-Anwendung entspricht dies der Fahrpedalstellung. Unter der Eingangsgröße E sind beispielsweise der Ladeluftdruck eines Turboladers und die Temperaturen der Kühl-/Schmiermittel und des Kraftstoffs subsumiert.

In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 5 ein Signal ADV zur Steuerung der Pumpen 7 mit Saugdrossel und eine Ausgangsgröße A dargestellt. Die Ausgangsgröße A steht stellvertretend für die weiteren Stell-
signale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 2, beispielsweise den Einspritzbeginn SB und ein leistungsbestimmendes Signal ve , entsprechend der Einspritzmenge.

Die Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild zur Umrechnung der Füllungs-Vorgabe FÜLL in eine Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL. Die Füllungs-Vorgabe FÜLL wird mittels einer Kennlinie bzw. eines Kennfelds 14 in eine ungefilterte Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL(U) gewandelt. Bei dieser Umrechnung können weitere Eingangsgrößen berücksichtigt werden, z. B. die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ der Brennkraftmaschine 2. Diese zusätzlichen Eingangsgrößen sind als Bezugszeichen E zusammengefasst. Danach wird die ungefilterte Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL(U) über ein Filter 15 in die Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL umgerechnet.

Die Figur 3 zeigt eine Regelkreisstruktur für den Start-Betrieb. Über diese wird das leistungsbestimmende Signal ve der Brennkraftmaschine für den Start-Betrieb berechnet. Die Eingangsgrößen entsprechen der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ der Brennkraftmaschine und einem Startdrehzahl-Sollwert $n_{ST}(SW)$. Der Startdrehzahl-Sollwert $n_{ST}(SW)$ wird bei einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit nach dem Starten der Brennkraftmaschine rampenförmig auf eine Leerlaufdrehzahl erhöht. Aus

den beiden Eingangsgrößen ergibt sich eine Regelabweichung dn_{ST} . Aus dieser berechnet der Startdrehzahl-Regler 11 die Startdrehzahl-Einspritzmenge Q_{ST} . Die Startdrehzahl-Einspritzmenge Q_{ST} und die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ stellen die Eingangsgrößen des Blocks Maximalwert-Auswahl 16 dar. Dieser Funktionsblock ermittelt aus den beiden Eingangsgrößen den Maximalwert und setzt das leistungsbestimmende Signal ve der Brennkraftmaschine auf den Maximalwert. Das leistungsbestimmende Signal ve entspricht somit entweder der Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ oder der Startdrehzahl-Einspritzmenge Q_{ST} .

Die Figur 4 zeigt eine Regelkreisstruktur des Leerlaufdrehzahl-Reglers 12 zur Berechnung des leistungsbestimmenden Signals ve . Der Leerlaufdrehzahl-Regler 12 besitzt als Eingangsgröße eine Drehzahl-Regelabweichung dn_{LL} und als Ausgangsgröße eine Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} . Die Drehzahl-Regelabweichung dn_{LL} ergibt sich aus der Differenz der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ und einem Sollwert der Leerlaufdrehzahl $n_{LL}(SW)$. Bei dominantem Leerlaufdrehzahl-Regler 12 wird das leistungsbestimmende Signal ve auf den Wert der Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} gesetzt. Diese stellt die Eingangsgröße eines Filters 17 dar. Über das Filter 17 wird aus der Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} eine gefilterte Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge $Q_{LL}(F)$ berechnet. Die gefilterte Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge $Q_{LL}(F)$ wird bei der Prüfung des Übergangs vom Leerlaufdrehzahl-Regler 12 zur Füllungs-Vorgabe $FÜLL$ verwendet.

Die Figur 5 zeigt eine Regelkreisstruktur des Enddrehzahl-Reglers 13 zur Berechnung des leistungsbestimmenden Signals ve bei dominantem Enddrehzahl-Regler. Der Enddrehzahl-Regler 13 berechnet aus einer Drehzahl-Regelabweichung dn_{ED} als Ausgangsgröße eine Enddrehzahl-Einspritzmenge Q_{ED} . Die Drehzahl-

Regelabweichung dn_{ED} wiederum ergibt sich aus der Differenz der Ist-Drehzahl $n_{M(IST)}$ der Brennkraftmaschine und einem Sollwert der Enddrehzahl $n_{ED(SW)}$. Bei dominantem Enddrehzahl-Regler 13 wird das leistungsbestimmende Signal ve auf den Wert der Enddrehzahl-Einspritzmenge Q_{ED} gesetzt. Die Enddrehzahl-Einspritzmenge Q_{ED} stellt die Eingangsgröße eines Filters 18 dar. Über dieses wird eine gefilterte Enddrehzahl-Einspritzmenge $Q_{ED(F)}$ berechnet. Die gefilterte Enddrehzahl-Einspritzmenge $Q_{ED(F)}$ wird bei der Prüfung des Übergangs vom Enddrehzahl-Regler 13 auf die Füllungs-Vorgabe $FÜLL$ verwendet.

Im Unterschied zum Stand der Technik ist bei der Erfindung nur ein Drehzahl-Regler dominant und aktiviert. Ausschließlich der dominante Drehzahl-Regler berechnet die Stellgröße. Die nicht dominanten Drehzahl-Regler sind deaktiviert und führen keine Rechenoperationen aus. Beispielsweise berechnet bei dominantem Leerlaufdrehzahl-Regler 12 ausschließlich dieser eine Einspritzmenge, hier die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} . Zur Berechnung der Stellgrößen enthalten die Drehzahl-Regler einen entsprechenden Regelalgorithmus, z. B. einen PIDT1-Algorithmus.

In Figur 6 ist ein Zustandsdiagramm für die vier Zustände der Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit 1 dargestellt. Beim Start-Betrieb ist zunächst der Startdrehzahl-Regler dominant. Die Dominanz wird über das Signal Reglermodus RM abgebildet. Bei dominantem Startdrehzahl-Regler 11 entspricht der Reglermodus RM dem Wert Eins ($RM = 1$). Der Start-Betrieb ist nach dem Starten der Brennkraftmaschine 2 so lange aktiv, bis die Ist-Drehzahl $n_{M(IST)}$ der Brennkraftmaschine 2 die Leerlaufdrehzahl, z. B. 1450 1/min, überschreitet. Während des Start-Betriebs wird geprüft, ob die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ größer als die Startdrehzahl-

Einspritzmenge QST wird. Ist dies nicht der Fall, so bleibt der Startdrehzahl-Regler dominant ($RM = 1$). Gleichzeitig wird das leistungsbestimmende Signal ve auf den Wert der Startdrehzahl-Einspritzmenge QST gesetzt ($ve = QST$). Mit Erkennen des Startendes wird dann der Leerlaufdrehzahl-Regler 12 aktiviert ($RM = 3$). Wird während des Start-Betriebs erkannt, dass die Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL größer als die Startdrehzahl-Einspritzmenge QST wird, so wird die Füllungs-Vorgabe FÜLL über den Reglermodus RM als dominant gesetzt ($RM = 2$). Gleichzeitig wird das leistungsbestimmende Signal ve auf den Wert der Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL gesetzt.

Die Rückkehr zum Startdrehzahl-Regler 11 erfolgt, wenn die Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL wieder kleiner oder gleich als die Startdrehzahl-Einspritzmenge QST wird.

Bei dominanter Füllungs-Vorgabe FÜLL und Startende wird über eine Drehzahl-Abfrage der Ist-Drehzahl $nM(IST)$ geprüft, ob ein Wechsel in der Dominanz hin zum Leerlaufdrehzahl-Regler 12 oder zum Enddrehzahl-Regler 13 erfolgen soll. Die Rückkehr vom Leerlaufdrehzahl-Regler 12 zur Füllungs-Vorgabe FÜLL erfolgt über den Vergleich der Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL mit der Summe aus Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge QLL oder der gefilterten Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge QLL(F) und einem Hysteresewert Hyst1. Die Rückkehr vom Enddrehzahl-Regler 13 zur Füllungs-Vorgabe FÜLL erfolgt über den Vergleich der Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL mit der Differenz aus Enddrehzahl-Einspritzmenge QED oder gefilterter Enddrehzahl-Einspritzmenge QED(F) minus einem Hysteresewert Hyst2. Durch die Verwendung der gefilterten Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge QLL(F) und der gefilterten Enddrehzahl-Einspritzmenge QED(F) wird ein besonders stabiler Übergang erreicht.

In Figur 7 ist ein Ablaufplan zum Start-Betrieb dargestellt. Bei S1 wird aus der Füllungs-Vorgabe FÜLL die ungefilterte Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL(U) berechnet und bei S2 gefiltert. Danach wird bei S3 aus der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ deren
5 Gradient n_{GRAD} berechnet. Bei S4 wird geprüft, ob eine Startende-Bedingung SE erkannt wird. Ist der Start noch nicht beendet, so wird der Programmzweig mit den Schritten S9 bis S18 durchlaufen. Wird ein Startende erkannt, so wird der Programmteil mit den Schritten S5 bis S8 durchlaufen.

10

Wenn bei S4 noch keine Startende-Bedingung erkannt wurde ($SE = 0$), so wird bei S9 der Sollwert $n_{ST}(SW)$ des Startdrehzahl-Reglers 11 berechnet. Über diesen wird eine Hochlauf-rampe oder ein konstanter Wert abgebildet. Bei S10 wird in
15 Abhängigkeit der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ bzw. der Regelabweichung dn_{ST} die Startdrehzahl-Einspritzmenge QST berechnet. Bei S11 wird die berechnete Startdrehzahl-Einspritzmenge auf einen maximalen Wert begrenzt. Bei S12 wird die Startdrehzahl-Einspritzmenge QST als Initialisierungswert für die gefilterte Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge QLL(F) gesetzt. Bei
20 S13 wird geprüft, ob die Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL größer als die Startdrehzahl-Einspritzmenge QST wird. Ist dies nicht der Fall, so wird bei S17 die Startdrehzahl-Einspritzmenge QST als leistungsbestimmendes Signal ve gesetzt und der Reglermodus RM auf 3 gesetzt, S18. Danach erfolgt die Rückkehr zum Programmpunkt A, das heißt, mit dem erneuten Berechnen der Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL im
25 Schritt S1. Wird bei S13 eine erhöhte Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL detektiert, so wird bei S14 der Reglermodus RM auf 2 gesetzt. Bei S15 wird sodann die Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL auf einen Maximalwert begrenzt und bei
30 S16 die Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL als leistungsbestimmendes Signal ve gesetzt. Danach erfolgt der Rücksprung zum Punkt A.

Wenn bei Schritt S4 eine Startende-Bedingung erkannt wird ($SE = 1$), erfolgt bei S5 eine Abfrage auf den Reglermodus RM. Besitzt dieser die Wertigkeit 3, so wird mit S6 das Unterprogramm Leerlaufdrehzahl-Regler, entsprechend der Figur 8, aufgerufen. Bei einem Wert von 2 wird bei S7 das Unterprogramm Füllung, entsprechend Figur 9, aufgerufen. Bei einem Wert von 4 wird das Unterprogramm Enddrehzahl-Regler, entsprechend Figur 10, aufgerufen.

10 In Figur 8 ist ein Ablaufplan zum Unterprogramm Leerlaufdrehzahl-Regler 12 dargestellt. Bei S1 wird eine Einspritzmenge Q aus der Summe der gefilterten Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge $QLL(F)$ und einer Hysterese $Hyst1$ berechnet. Der Hysteresewert $Hyst1$ wird vom Betreiber vorgesehen. Durch
15 die Verwendung der gefilterten Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge $QLL(F)$ und Einführung der Hysterese $Hyst1$ wird ein besonders stabiler Übergang vom Leerlaufdrehzahl-Regler 12 zur Füllungs-Vorgabe $FÜLL$ erreicht. Dann wird bei S2 geprüft, ob die Füllungs-Einspritzmenge $QFÜLL$ größer als
20 die Einspritzmenge Q wird. Bei positivem Prüfergebnis werden die Schritte S8 bis S10 durchlaufen. Bei negativem Prüfergebnis werden die Schritte S3 bis S7 durchlaufen.

25 Wird bei S2 erkannt, dass die Füllungs-Einspritzmenge $QFÜLL$ größer als die Einspritzmenge Q ist, so wird bei S8 der Reglermodus RM auf 2 gesetzt und bei S9 die Füllungs-Einspritzmenge $QFÜLL$ begrenzt. Danach wird bei S10 die Füllungs-Einspritzmenge $QFÜLL$ als leistungsbestimmendes Signal
30 ve gesetzt und zum Punkt A der Figur 7 zurückverzweigt.

Wird bei S2 erkannt, dass die Füllungs-Einspritzmenge $QFÜLL$ kleiner oder gleich der Einspritzmenge Q ist, so wird bei S3 ein Sollwert $nLL(SW)$ für den Leerlaufdrehzahl-Regler 12 berechnet. In der Praxis kann der Sollwert $nLL(SW)$ konstant

sein, beispielsweise 1450 Umdrehungen/Minute. Bei S4 wird in Abhängigkeit der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ und dem Sollwert $n_{LL}(SW)$ die Regelabweichung dn_{LL} und hieraus die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} berechnet. Die Berechnung kann
5 beispielsweise über einen PIDT1-Algorithmus erfolgen. Bei S5 wird die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} auf einen maximalen Wert begrenzt und bei S6 gefiltert. Danach wird bei S7 die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} als leistungsbestimmendes Signal ve gesetzt und zum Punkt A der Figur 7 zurück-
10 gekehrt.

Figur 9 zeigt einen Ablaufplan zum Unterprogramm Füllung. Bei S1 wird ein erster Grenzwert GW_1 berechnet. Dieser bestimmt sich aus dem Sollwert $n_{LL}(SW)$ für den Leerlaufdrehzahl-Reglers 12 und einem Drehzahl-Vorhalt. Der Drehzahl-Vorhalt wiederum bestimmt sich aus einem Faktor F_1 und einem Vorgabewert dn_1 . Der Faktor F_1 ist proportional zum Gradienten n_{GRAD} der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$. Sowohl der Proportionalitätsfaktor k_1 als auch der Vorgabewert dn_1 werden vom
20 Betreiber vorgegeben. In der Praxis werden Werte von 0 bis 20 Umdrehungen/Minute verwendet. Bei einem Vorgabewert dn_1 gleich Null und bei einem Wert von k_1 größer Null, erfolgt der Übergang zum Leerlaufdrehzahl-Regler 12 bei fallender Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ bereits vor Erreichen der Solldrehzahl $n_{LL}(SW)$, da der Drehzahl-Gradient n_{GRAD} in diesem Fall ein
25 negatives Vorzeichen hat. Dasselbe gilt, wenn der Faktor F_1 bei fallender Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ betragsmäßig größer als der Vorgabewert dn_1 ist. Bei S2 wird geprüft, ob die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ kleiner als der erste Grenzwert GW_1 ist.
30 Ist dies der Fall, so wird der Leerlaufdrehzahl-Regler 12 aktiviert ($RM = 3$) und die Schritte S3 bis S9 durchlaufen. Ist die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ größer oder gleich als der Grenzwert (GW_1), so werden die Schritte S10 bis S20 durchlaufen.

Liegt die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ unterhalb des ersten Grenzwerts GW_1 , so wird der Reglermodus RM auf 3 gesetzt, S_3 . Danach wird bei S_4 der Sollwert $n_{LL}(SW)$ des Leerlaufdrehzahl-Reglers 12 berechnet. Die Berechnung erfolgt indem vom Sollwert $n_{LL}(SW)$ der Faktor F_1 subtrahiert wird. Bei einer fallenden Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ bewirkt dies eine Vergrößerung des Sollwerts $n_{LL}(SW)$, wenn der Proportionalitätsfaktor k_1 größer als Null ist. Im weiteren Programmablauf wird der Sollwert $n_{LL}(SW)$ entweder rampenförmig oder durch eine Übergangsfunktion auf das ursprüngliche Niveau zurückgeführt, siehe Schritt S_3 der Figur 8. Durch dieses kurzzeitige Anheben der Solldrehzahl $n_{LL}(SW)$ beim Übergang zum Leerlaufdrehzahl-Regler 12 wird bei fallender Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ bereits vor Erreichen der ursprünglich vorgegebenen Solldrehzahl eine positive Drehzahl-Regelabweichung dn_{LL} erzeugt. Diese Drehzahl-Regelabweichung dn_{LL} ist beim Übergang zum Leerlaufdrehzahl-Regler 12 um so größer, je größer der Vorgabewert dn_1 ist. Mit dieser Maßnahme kann das Unterschwingen der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ beim Übergang zum Leerlaufdrehzahl-Regler 12 sehr stark reduziert werden. Bei S_5 wird der Leerlaufdrehzahl-Regler 12 initialisiert. Die Initialisierung des integrierenden Anteils (I-Anteil) wird in Verbindung mit den Figuren 11A bis 11C erläutert. Danach wird bei S_6 aus der Regelabweichung dn_{LL} die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} berechnet und bei S_7 begrenzt. Bei S_8 wird die gefilterte Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge $Q_{LL}(F)$ mit dem Wert der Leerlauf-Einspritzmenge Q_{LL} initialisiert. Bei S_9 wird die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge Q_{LL} als leistungsbestimmendes Signal ve gesetzt und zum Programmpunkt A zurückgekehrt.

Wird bei S_2 festgestellt, dass die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ größer/gleich als der erste Grenzwert GW_1 ist, so wird bei S_{10} ein zweiter Grenzwert GW_2 berechnet. Der zweite Grenzwert

GW2 berechnet sich aus dem Sollwert $n_{ED}(SW)$ des Enddrehzahl-Reglers 13 und einem Drehzahlvorhalt, welcher aus einem Faktor $F2$ und einem positiven Vorgabewert $dn2$ bestimmt wird. Der Faktor $F2$ ist proportional zum Gradienten n_{GRAD} der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$. Der Proportionalitätsfaktor $k2$ wird vom Betreiber vorgegeben. Auch der Vorgabewert $dn2$ wird vom Betreiber vorgegeben und nimmt in der Praxis Werte von 0 bis 20 Umdrehungen/Minute an. Danach wird bei S11 geprüft, ob die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ größer dem zweiten Grenzwert GW2 ist. Ist dies der Fall, so wird bei S12 der Reglermodus RM auf den Wert 4 gesetzt und der Enddrehzahl-Regler 13 aktiviert. Hat der Vorgabewert $dn2$ den Wert Null und hat $k2$ einen Wert, der größer als Null ist, so erfolgt der Übergang zum Enddrehzahl-Regler 13 bei steigender Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ bereits vor Erreichen der Solldrehzahl $n_{ED}(SW)$, da der Drehzahl-Gradient n_{GRAD} in diesem Fall ein positives Vorzeichen hat. Dasselbe gilt, wenn der Faktor $F2$ bei steigender Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ betragsmäßig größer als der Vorgabewert $dn2$ ist. Bei S13 wird der Sollwert $n_{ED}(SW)$ berechnet. Durch die Subtraktion des Faktors $F2$ vom Sollwert $n_{ED}(SW)$ des Enddrehzahl-Reglers 13 wird bewirkt, dass bei steigender Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ der Sollwert $n_{ED}(SW)$ abgesenkt wird, wenn der Proportionalitätsfaktor $k2$ größer als Null gesetzt wird. Im weiteren Programmablauf wird der Sollwert $n_{ED}(SW)$ entweder rampenförmig oder durch eine Übergangsfunktion wieder auf das ursprüngliche Niveau zurückgeführt, und zwar bei Schritt S3 von Figur 10. Durch dieses kurzzeitige Absenken der Solldrehzahl ($n_{ED}(SW)$) beim Übergang zum Enddrehzahl-Regler 13 wird - bei steigender Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ - bereits vor Erreichen der ursprünglich vorgesehenen Solldrehzahl $n_{ED}(SW)$ eine Drehzahl-Regelabweichung dn_{ED} erzeugt. Diese Drehzahl-Regelabweichung dn_{ED} ist beim Übergang zum Enddrehzahl-Regler 13 betragsmäßig umso größer, je größer der Vorgabewert $dn2$ ist. Mit dieser Maßnahme kann das

Überschwingen der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ beim Übergang zum Enddrehzahl-Regler 13 sehr stark reduziert werden. Bei S14 wird der Enddrehzahl-Regler 13 initialisiert. Die Initialisierung des I-Anteils wird in Verbindung mit der Figur 12
5 erläutert. Bei S15 wird in Abhängigkeit der Regelabweichung dn_{ED} die Enddrehzahl-Einspritzmenge Q_{ED} berechnet. Danach wird bei S16 diese auf einen maximalen Wert begrenzt. Bei S17 wird die gefilterte Enddrehzahl-Einspritzmenge $Q_{ED}(F)$ mit dem Wert der Enddrehzahl-Einspritzmenge Q_{ED} initialisiert.
10 Bei S18 wird die Enddrehzahl-Einspritzmenge Q_{ED} als leistungsbestimmendes Signal ve gesetzt und zum Programmpunkt A verzweigt.

Wenn bei S11 erkannt wird, dass die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$
15 kleiner/gleich als der zweite Grenzwert $GW2$ wird, so wird bei S19 die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ begrenzt und bei S20 als leistungsbestimmendes Signal ve gesetzt und zum Programmpunkt A zurückgekehrt.

20 In Figur 10 ist ein Ablaufplan zum Unterprogramm Enddrehzahl-Regler 13 dargestellt. Bei S1 wird eine Einspritzmenge Q aus der gefilterten Enddrehzahl-Einspritzmenge $Q_{ED}(F)$ minus einer Hysterese $Hyst2$ berechnet. Danach wird bei S2 geprüft, ob die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ kleiner als die
25 Einspritzmenge Q ist. Durch die Berücksichtigung der gefilterten Enddrehzahl-Einspritzmenge $Q_{ED}(F)$ und der Hysterese $Hyst2$ im Schritt S2 wird ein besonders stabiler Übergang erreicht. Ist die Abfrage bei S2 positiv, so wird der Reglermodus RM auf den Wert 2 gesetzt, S8. Hierdurch wird die Füllungs-Vorgabe $FÜLL$ als dominant gesetzt. Danach wird bei S9
30 die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ auf einen maximalen Wert begrenzt. Bei S10 wird als leistungsbestimmendes Signal ve die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ gesetzt und zum Programmpunkt A zurückgekehrt.

Wenn im Schritt S2 erkannt wird, dass die Füllungs-
Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ größer oder gleich als die Einspritz-
menge Q ist, so wird bei S3 der Sollwert $n_{ED}(SW)$ für den
Enddrehzahl-Regler 13 berechnet. Im Schritt S4 wird aus der
5 Drehzahl-Regelabweichung dn_{ED} die Enddrehzahl-Einspritzmenge
QED berechnet. Die Berechnung kann beispielsweise über einen
PIDT1-Algorithmus erfolgen. Bei S5 wird die Enddrehzahl-
Einspritzmenge QED auf einen maximalen Wert begrenzt und bei
S6 gefiltert. Danach wird die Enddrehzahl-Einspritzmenge QED
10 bei S7 als leistungsbestimmendes Signal ve gesetzt und zum
Punkt A der Figur 7 zurückgekehrt.

In den Figuren 11A bis 11C sind drei Ausführungsformen zur
Initialisierung des integrierenden Anteils (I-Anteil) des
15 Leerlaufdrehzahl-Reglers 12 dargestellt.

In Figur 11A wird bei S1 der Zustand eines Schalters ge-
prüft. Dieser Schalter wird vom Betreiber gesetzt. Bei einem
Wert von 1 wird bei S3 der I-Anteil initialisiert, indem ein
20 Faktor $F3$ und ein PIDT1-Anteil RA des Leerlaufdrehzahl-
Reglers 12 vom aktuellen Wert des leistungsbestimmenden Sig-
nals ve subtrahiert werden. Der Faktor $F3$ berechnet sich aus
dem Gradienten n_{GRAD} der Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ und einem po-
sitiven Proportionalitätsfaktor $k3$. Wenn anstelle eines
25 PIDT1-Algorithmus eine andere Berechnungsvorschrift verwen-
det wird, ist der Anteil RA gleich Null. Besitzt der Schal-
ter einen Wert von 0, so wird bei S2 der I-Anteil mit der
Differenz des aktuellen Werts des leistungsbestimmenden Sig-
nals ve und dem Faktor $F3$ initialisiert. Danach erfolgt die
30 Rückkehr zum Schritt S5 des Ablaufplans der Figur 9.

In Figur 11B ist eine andere Ausführungsform zur Initiali-
sierung des I-Anteils des Leerlauf-Drehzahl-Reglers 12 dar-
gestellt. Im Unterschied zu Figur 11A wird hier der I-Anteil

vorgegeben. Bei S1 wird geprüft, welcher Zustand ein Schalter aufweist. Der Schalter wird vom Benutzer vorgegeben. Besitzt der Schalter den Wert 1, so wird bei S2 der I-Anteil auf einen konstanten Wert gesetzt, bei S6 begrenzt und zum Ablaufplan der Figur 9 zurückgekehrt. Besitzt der Schalter den Wert 0, so wird bei S3 geprüft, ob ein 50Hz- oder 60Hz-Generator verwendet wird. In beiden Fällen wird der I-Anteil mit der sich in lastfreiem Betrieb der Brennkraftmaschine ergebenden Einspritzmenge initialisiert. Beim 50Hz-Betrieb entspricht dies der Einspritzmenge $Q_{MIN}(50Hz)$ bzw. beim 60Hz-Betrieb der Einspritzmenge $Q_{MIN}(60Hz)$. Bei S6 wird danach der I-Anteil begrenzt und zum Ablaufplan der Figur 9 zurückgekehrt.

In Figur 11C ist eine weitere Ausführungsform zur Initialisierung des I-Anteils des Leerlauf-Drehzahl-Reglers 12 dargestellt. Der Ablaufplan der Figur 11C entspricht im Wesentlichen der Kombination der Ablaufpläne der Figuren 11A und 11B. Bei S1 wird der Schalterzustand eines ersten Schalters geprüft. Besitzt der erste Schalter den Wert 1, so wird bei S3 eine Differenz-Einspritzmenge $Q(DIFF)$ berechnet, indem vom aktuellen Wert des leistungsbestimmenden Signals ve ein Faktor $F3$ und der $PIDT1$ -Anteil RA des Leerlaufdrehzahl-Reglers abgezogen werden. Der Faktor $F3$ stellt wiederum das Produkt des Gradienten $nGRAD$ der Ist-Drehzahl $nM(IST)$ mit dem vorzugebenden positiven Wert $k3$ dar. Besitzt der erste Schalter den Wert 0, so wird bei S2 ebenfalls eine Differenz-Einspritzmenge $Q(DIFF)$ als Differenz vom aktuellen Wert des leistungsbestimmenden Signals ve und Faktor $F3$ berechnet. Bei S4 wird danach die Differenz-Einspritzmenge $Q(DIFF)$ begrenzt. Bei S5 wird der Schalterzustand eines zweiten Schalters geprüft. Besitzt der zweite Schalter den Wert 1, so wird bei S6 der I-Anteil auf einen konstanten vorgebbaren Wert gesetzt. Besitzt der Schalter aber den Wert 0, so fol-

gen die Schritte S7 bis S9. Diese entsprechen den Schritten S3 bis S5 der Figur 11B, so dass das dort Gesagte gilt. Bei S10 wird der I-Anteil anschließend auf einen maximalen Wert begrenzt. Bei S11 wird geprüft, ob die Differenz-

- 5 Einspritzmenge $Q(\text{DIFF})$ größer als der I-Anteil ist. Ist dies nicht der Fall, so wird der zuvor berechnete I-Anteil als Initialisierungswert verwendet, S13. Ist die Differenz-Einspritzmenge $Q(\text{DIFF})$ größer als der I-Anteil, so wird der I-Anteil auf die Differenz-Einspritzmenge $Q(\text{DIFF})$ gesetzt,
10 S12. Danach wird zum Ablaufplan der Figur 9 zurückgekehrt.

- 15 In Figur 12 ist ein Ablaufplan zur Initialisierung des I-Anteils des Enddrehzahl-Reglers 13 dargestellt. Bei S1 wird der Schalterzustand eines Schalters geprüft. Besitzt der Schalter den Wert 1, so wird der I-Anteil im Schritt S3 initialisiert. Der I-Anteil berechnet sich aus dem aktuellen Wert des leistungsbestimmenden Signals v_e minus einem Faktor F_4 und dem PIDT1-Anteil RA des Enddrehzahl-Reglers 13. Der Faktor F_4 ist dabei das Produkt des Gradienten n_{GRAD} der
20 Ist-Drehzahl $n_{\text{M}}(\text{IST})$ und eines positiven Vorgabewerts k_4 . Danach wird bei S4 der zuvor berechnete I-Anteil begrenzt. Besitzt der Schalter den Wert 0, so wird der I-Anteil im Schritt S2 mit der Differenz vom aktuellen Wert des leistungsbestimmenden Signals v_e und dem Faktor F_4 initiali-
25 siert. Nach Ausführung des Schritts S4 wird zum Ablaufplan der Figur 9 zurückgekehrt.

- Die Figur 13 zeigt einen Start-Vorgang mit anschließender Leerlauf- und Enddrehzahl-Regelung. Die Figur 13 besteht aus
30 den Teilfiguren 13A bis 13D. Diese zeigen jeweils über der Zeit: ein Signal Startende SE und den die Dominanz darstellenden Reglermodus RM (Figur 13A), die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{\text{FÜLL}}$ und das leistungsbestimmende Signal v_e (Figur 13B), die Startdrehzahl-, Leerlaufdrehzahl- und End-

drehzahleinspritzmengen QST, QLL und QED (Figur 13C) und ein Drehzahl-Diagramm (Figur 13D).

Zu einem Zeitpunkt $t=0$ wird die Brennkraftmaschinen-
5 Generator-Einheit 1 aktiviert. Das Signal Startende nimmt
einen Wert 0 ein. Gleichzeitig wird der Startdrehzahl-Regler
aktiviert und zunächst als dominant gesetzt. Das Signal Reg-
lermodus RM besitzt den Wert 1. Gleichzeitig wird geprüft,
10 ob die aus der Füllungs-Vorgabe FÜLL berechnete Füllungs-
Einspritzmenge QFÜLL größer als die vom Startdrehzahl-Regler
11 berechnete Startdrehzahl-Einspritzmenge QST ist. Da die
Füllungs-Einspritzmenge QFÜLL zunächst den Wert 0 hat, ent-
spricht der Wert des leistungsbestimmenden Signals ve dem
Wert der Startdrehzahl-Einspritzmenge QST, hier F1. Die Ist-
15 Drehzahl $nM(IST)$ folgt einer über den Sollwert $nST(SW)$ vor-
gegebenen Hochlauframpe. Zum Zeitpunkt t_1 überschreitet die
Ist-Drehzahl $nM(IST)$ einen Drehzahlwert von 600 Umdrehun-
gen/Minute. Die Startdrehzahl-Einspritzmenge QST wird bis
zum Zeitpunkt t_1 auf den Wert F1 begrenzt, danach nicht
20 mehr. Zum Zeitpunkt t_2 erreicht die Ist-Drehzahl $nM(IST)$ ei-
nen Grenzwert, wodurch die Startende-Bedingung erfüllt wird.
Der Grenzwert ist in Figur 13D mit 1450 Umdrehungen/Minute
dargestellt. Mit Erreichen dieses Grenzwerts wird das Signal
Startende von 0 auf 1 gesetzt. Bei der Leerlaufdrehzahl von
25 1450 Umdrehungen/Minute besteht noch kein Kraftschluss zwi-
schen der Brennkraftmaschine 2 und dem Generator 4.

Ab dem Zeitpunkt t_2 ist der Leerlaufdrehzahl-Regler 12 domi-
nant und regelt die Ist-Drehzahl $nM(IST)$ auf einen konstan-
30 ten Wert von 1450 Umdrehungen/Minute. Das leistungsbestim-
mende Signal ve ist jetzt mit der Leerlaufdrehzahl-
Einspritzmenge QLL identisch. Zum Zeitpunkt t_3 wird die Fül-
lungs-Vorgabe FÜLL erhöht, so dass die Füllungs-
Einspritzmenge QFÜLL den Wert F2 annimmt und damit größer
35 als die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge QLL wird. Als Folge
hiervon wechselt die Dominanz vom Leerlaufdrehzahl-Regler 12
zur Füllungs-Vorgabe FÜLL. Dies wird in Figur 13A durch die

Änderung des Reglermodus RM vom Wert 3 nach 2 dargestellt.
Im Zeitraum t_3 bis t_4 wird die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$ auf
Grund der höheren Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ auf ein neu-
es Drehzahl-Niveau von 1500 Umdrehungen/Minute geführt. Ab
5 diesem Zeitpunkt besteht eine kraftschlüssige Verbindung.

Zum Zeitpunkt t_4 wird davon ausgegangen, dass die Füllungs-
Vorgabe $FÜLL$ nochmals erhöht wird. Hierdurch erhöht sich die
Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ auf den Wert F_3 . Es wird davon
10 ausgegangen, dass die Generator-Last unverändert bleibt. Auf
Grund der höheren Einspritzmenge erhöht sich ebenfalls die
Ist-Drehzahl $n_M(IST)$. Zum Zeitpunkt t_5 wechselt die Dominanz
von der Füllungs-Vorgabe $FÜLL$ zum Enddrehzahl-Regler 13. Der
Reglermodus RM wechselt seinen Wert von 2 nach 4. Nunmehr
15 entspricht das leistungsbestimmende Signal ve der Enddreh-
zahl-Einspritzmenge Q_{ED} . Danach wird die Enddrehzahl-
Einspritzmenge Q_{ED} bis zum Zeitpunkt t_6 reduziert. Zum Zeit-
punkt t_6 wird beispielsweise die Füllungs-Vorgabe $FÜLL$ wie-
der auf den Wert 0 verringert. Als Folge hiervon reduziert
20 sich die Füllungs-Einspritzmenge $Q_{FÜLL}$ ebenfalls auf Null.
Da dieser Wert kleiner ist als die vom Enddrehzahl-Regler 13
berechnete Einspritzmenge Q_{ED} wird jetzt die Füllungs-
Vorgabe $FÜLL$ dominant. Entsprechend ändert sich der Wert des
Reglermodus RM wieder auf den Wert 2. Da das leistungsbe-
stimmende Signal ve den Wert 0 annimmt, reduziert sich jetzt
25 die Ist-Drehzahl $n_M(IST)$. Ab diesem Zeitpunkt besteht keine
kraftschlüssige Verbindung mehr. Kurz vor Erreichen des
Grenzwerts von 1450 Umdrehungen/Minute erfolgt ein Wechsel
in der Dominanz zum Leerlaufdrehzahl-Regler 12. Der Regler-
modus RM ändert seine Wertigkeit von 2 nach 3. Die Ist-
30 Drehzahl $n_M(IST)$ pendelt sich auf die Leerlaufdrehzahl von
1450 Umdrehungen/Minute ein.

Aus der Figur 13D ist ersichtlich, dass die Leerlaufdrehzahl
35 (1450 Umdrehungen/Minute) und die Enddrehzahl (1550 Umdre-
hungen/Minute) sehr eng beieinander liegen. Die Erfindung
lässt sich ganz allgemein immer dann mit Vorteil verwenden,

wenn eine Leerlauf-Enddrehzahl-Regelung bei eng beieinander-
liegenden Drehzahl-Niveaus erforderlich ist.

5

10



15

20



25

30

35

Bezugszeichen

	1	Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit
	2	Brennkraftmaschine
5	3	Übertragungsglied
	4	Generator
	5	Elektronisches Steuergerät EDC
	6	Kraftstofftank
	7	Pumpen
10	8	Rail
	9	Rail-Drucksensor
	10	Injektoren
	11	Startdrehzahl-Regler
	12	Leerlaufdrehzahl-Regler
15	13	Enddrehzahl-Regler
	14	Kennlinie / Kennfeld
	15	Filter
	16	Maximalwert-Auswahl
	17	Filter
20	18	Filter

25

30

35

MTU Friedrichshafen GmbH

17.10.2002

5

Patentansprüche

- 10 1. Verfahren zur Drehzahl-Regelung einer Antriebseinheit,
insbesondere Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit (1),
bei dem mittels eines ersten Reglers eine erste Ein-
spritzenmenge berechnet wird und mittels eines zweiten Reg-
lers eine zweite Einspritzenmenge berechnet wird,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass mittels eines dritten Reglers eine dritte Einspritzen-
menge berechnet wird, wobei ein Regler als dominant für
die Drehzahl-Regelung gesetzt wird und die nicht dominan-
ten Regler deaktiviert werden, aus einer Füllungs-Vorgabe
20 (FÜLL) eine Füllungs-Einspritzenmenge (QFÜLL) berechnet
wird, die Einspritzenmenge (QST, QLL, QED) des dominanten
Reglers (11, 12, 13) mit der Füllungs-Einspritzenmenge
(QFÜLL) verglichen wird und in Abhängigkeit des Ver-
gleichs die Dominanz (RM) des Reglers beibehalten wird o-
25 der die Füllungs-Vorgabe (FÜLL) als dominant für ein
leistungsbestimmende Signal (ve) gesetzt wird.
2. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
30 dass der erste Regler einem Leerlaufdrehzahl-Regler (12)
und die erste Einspritzenmenge einer Leerlaufdrehzahl-
Einspritzenmenge (QLL) entspricht, der zweite Regler einem
Enddrehzahl-Regler (13) und die zweite Einspritzenmenge ei-
ner Enddrehzahl-Einspritzenmenge (QED) entspricht, sowie
35 der dritte Regler einem Startdrehzahl-Regler (11) und die
dritte Einspritzenmenge einer Startdrehzahl-Einspritzenmenge
(QST) entspricht.

3. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge (QLL) und die
Enddrehzahl-Einspritzmenge (QED) gefiltert werden
5 (QLL(F), QED(F)).
4. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 1 und 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Startdrehzahl-Regler (11) als dominant (RM = 1)
10 gesetzt wird, wenn eine Start-Bedingung (SE) erkannt wird
(SE = 0) und die Startdrehzahl-Einspritzmenge (QST) grö-
ßer der Füllungs-Einspritzmenge (QFÜLL) ist
(QST > QFÜLL).
5. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei dominantem (RM = 1) Startdrehzahl-Regler (11)
ein Wechsel in der Dominanz zum Leerlaufdrehzahl-Regler
(12) erfolgt (RM = 3), wenn eine Startende-Bedingung er-
20 kannt wird (SE = 1) und die Startdrehzahl-Einspritzmenge
(QST) größer oder gleich der Füllungs-Einspritzmenge
(QFÜLL) ist (QST ≥ QFÜLL).
6. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 4,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Füllungs-Vorgabe (FÜLL) als dominant gesetzt
wird (RM = 2), wenn die Füllungs-Einspritzmenge (QFÜLL)
größer als die Startdrehzahl-Einspritzmenge (QST) wird
(QFÜLL > QST) und ein Startende noch nicht erkannt wurde
30 (SE = 0).
7. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei dominanter (RM = 2) Füllungs-Vorgabe (FÜLL) ein
35 Wechsel in der Dominanz zurück zum Startdrehzahl-Regler
(11) erfolgt (RM = 1), wenn die Füllungs-Einspritzmenge
(QFÜLL) kleiner oder gleich der Startdrehzahl-

Einspritzmenge (QST) wird ($QFÜLL \leq QST$) und ein Startende noch nicht erkannt wurde ($SE = 0$).

- 5 8. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei dominanter ($RM = 2$) Füllungs-Vorgabe (FÜLL) ein
Wechsel in der Dominanz zum Leerlaufdrehzahl-Regler (12)
erfolgt ($RM = 3$), wenn eine Ist-Drehzahl ($nM(IST)$) der
Antriebseinheit kleiner einem ersten Grenzwert ($GW1$) wird
10 ($nM(IST) < GW1$).
- 15 9. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der erste Grenzwert ($GW1$) aus einem Sollwert einer
Leerlauf-Drehzahl ($nLL(SW)$) und einem Drehzahl-Vorhalt
berechnet wird, wobei der Drehzahl-Vorhalt maßgeblich
durch den Gradienten ($nGRAD$) der Ist-Drehzahl ($nM(IST)$)
und einem Vorgabewert ($dn1$) bestimmt wird.
- 20 10. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass beim Wechsel in der Dominanz der I-Anteil des Leer-
laufdrehzahl-Reglers (12) initialisiert wird.
- 25 11. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 10,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Initialisierungswert des I-Anteils entweder als
konstant gesetzt wird oder maßgeblich vom Gradienten
($nGRAD$) der Ist-Drehzahl ($nM(IST)$) bestimmt wird.
30
12. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der vorausge-
gangenen Ansprüche
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei dominantem ($RM = 3$) Leerlaufdrehzahl-Regler (12)
35 ein Wechsel in der Dominanz zur Füllungs-Vorgabe (FÜLL)
erfolgt ($RM = 2$), wenn die Füllungs-Einspritzmenge
($QFÜLL$) größer als die Summe aus Leerlaufdrehzahl-

Einspritzmenge (QLL) oder gefilterter Leerlaufdrehzahl-Einspritzmenge (QLL(F)) und einem HystereseWert (Hyst1) wird.

- 5 13. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der vorausge-
gangenen Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei dominanter (RM = 2) Füllungs-Vorgabe (FÜLL) ein
Wechsel in der Dominanz zum Enddrehzahl-Regler (13) er-
10 folgt (RM = 4), wenn die Ist-Drehzahl (nM(IST)) der An-
triebseinheit größer einem zweiten Grenzwert (GW2) wird
(nM(IST) > GW2).
14. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 13,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der zweite Grenzwert (GW2) aus einem Sollwert einer
Enddrehzahl (nED(SW)) und einem Drehzahl-Vorhalt berech-
net wird, wobei der Drehzahl-Vorhalt maßgeblich durch den
Gradienten (nGRAD) der Ist-Drehzahl (nM(IST)) und einem
20 Vorgabewert (dn2) bestimmt wird.
15. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass beim Wechsel der Dominanz der I-Anteil des Enddreh-
25 zahl-Reglers (13) initialisiert wird.
16. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Initialisierungswert des I-Anteils maßgeblich
30 vom Gradienten (nGRAD) der Ist-Drehzahl (nM(IST)) be-
stimmt wird.
17. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der vorausge-
gangenen Ansprüche,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei dominantem (RM = 4) Enddrehzahl-Regler (13) ein
Wechsel in der Dominanz zur Füllungs-Vorgabe (FÜLL) er-

folgt ($RM = 2$), wenn die Füllungs-Einspritzmenge ($QFÜLL$) kleiner als die Differenz aus Enddrehzahl-Einspritzmenge (QED) oder gefilterter Enddrehzahl-Einspritzmenge ($QED(F)$) minus einem HystereseWert ($Hyst2$) wird.

5

18. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10

dass die Füllungs-Einspritzmenge ($QFÜLL$) über eine Kennlinie oder ein Kennfeld (14) aus der Füllungs-Vorgabe ($FÜLL$) berechnet wird und mittels eines Filters (15) gefiltert wird.

15

20

25

30

35

1 / 12

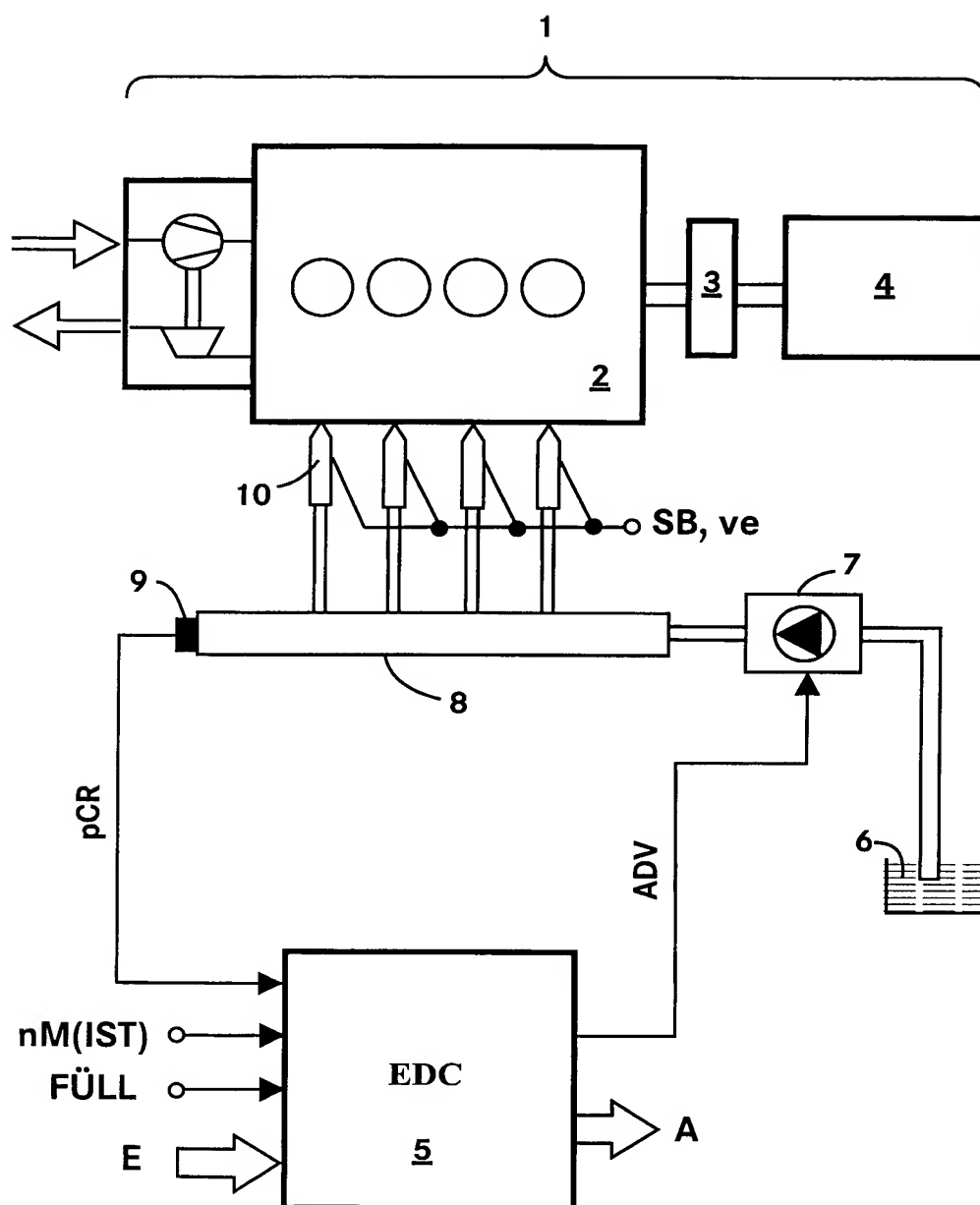


Fig. 1

2 / 12

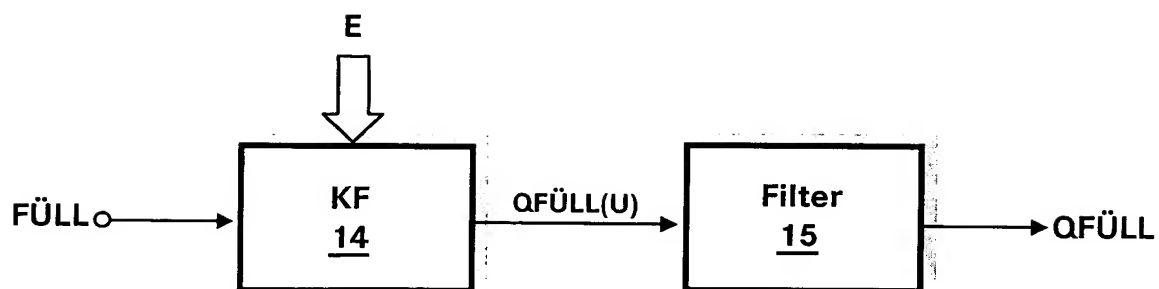


Fig. 2

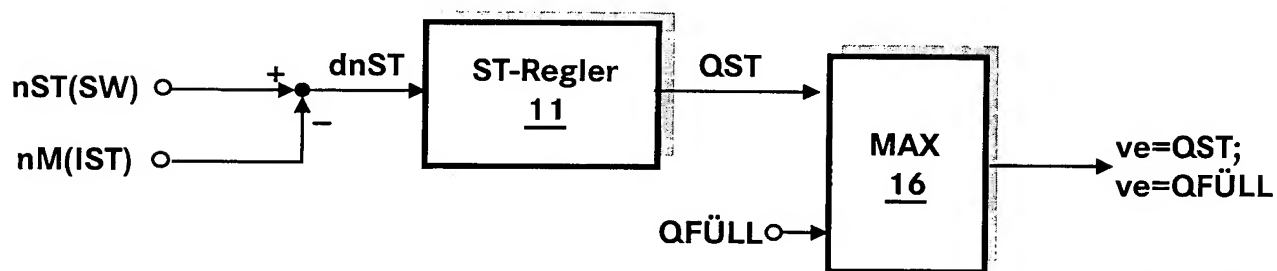


Fig. 3

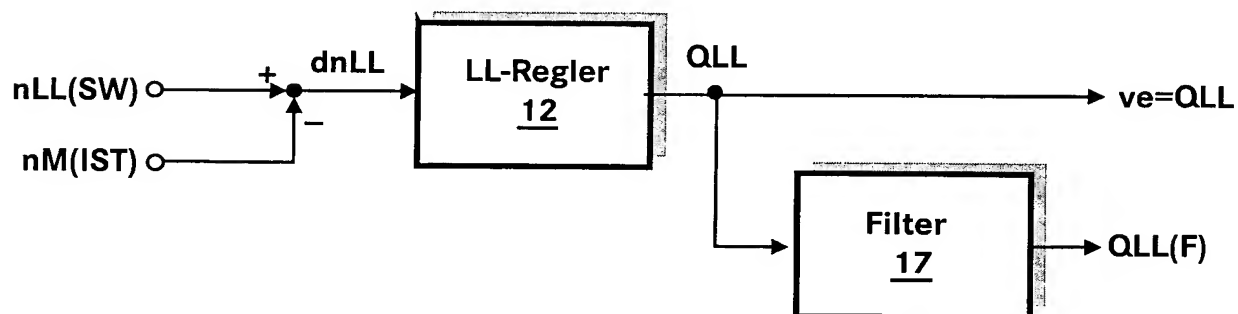


Fig. 4

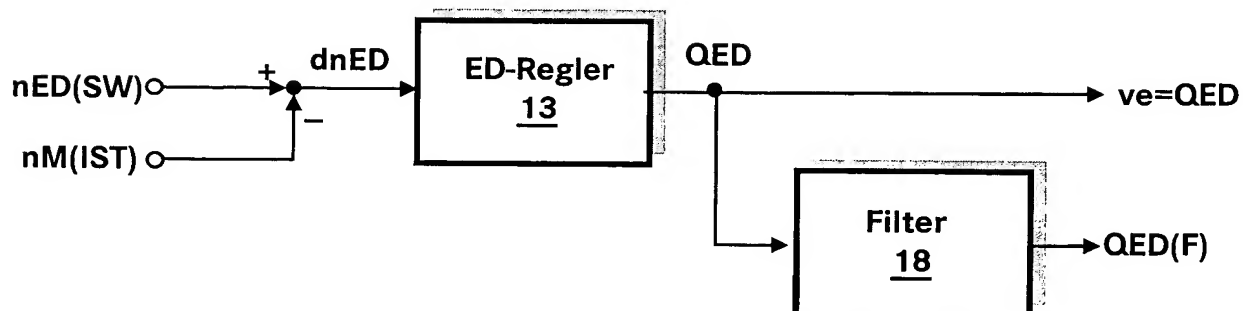


Fig. 5

3 / 12

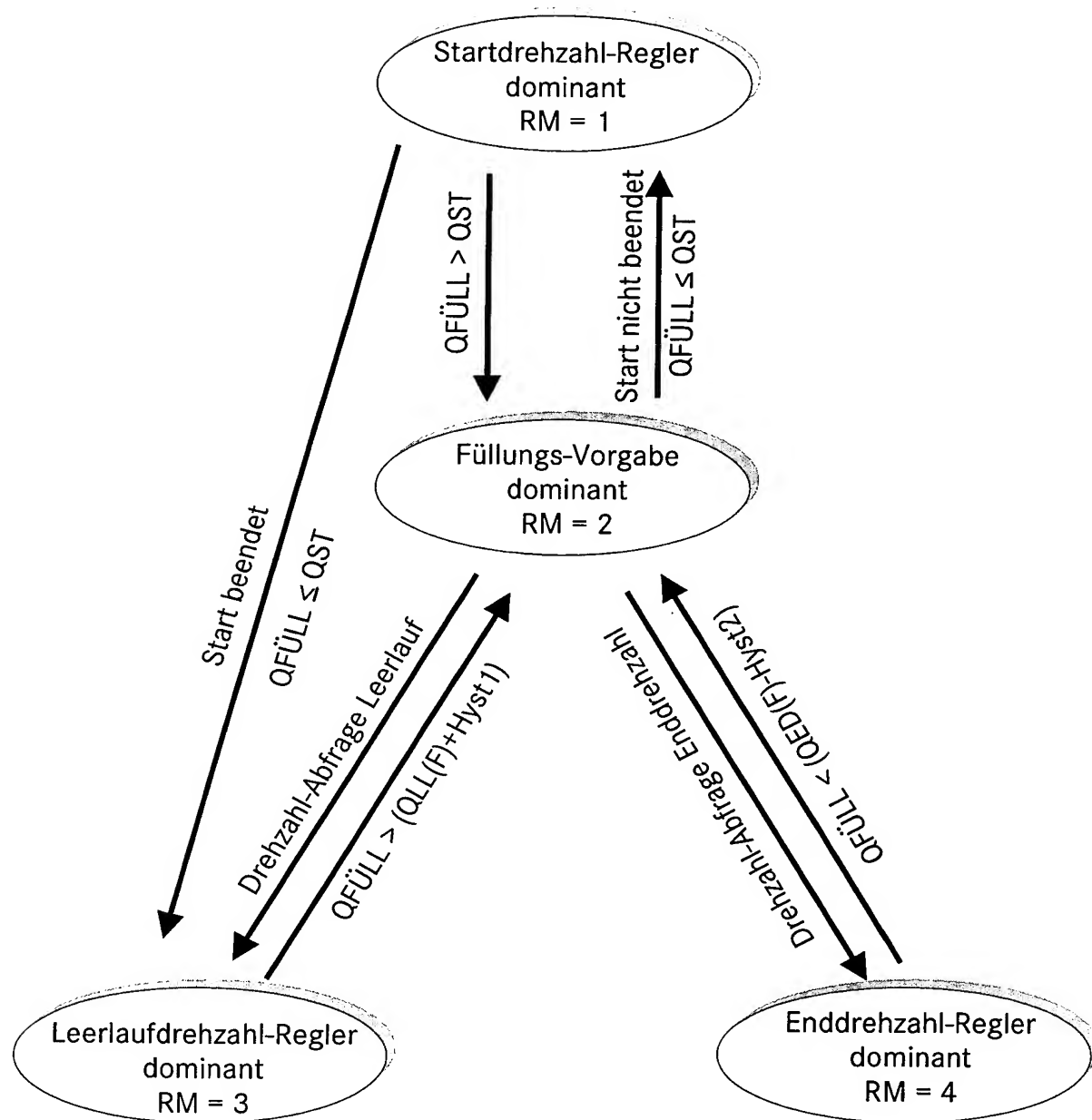


Fig. 6

4 / 12

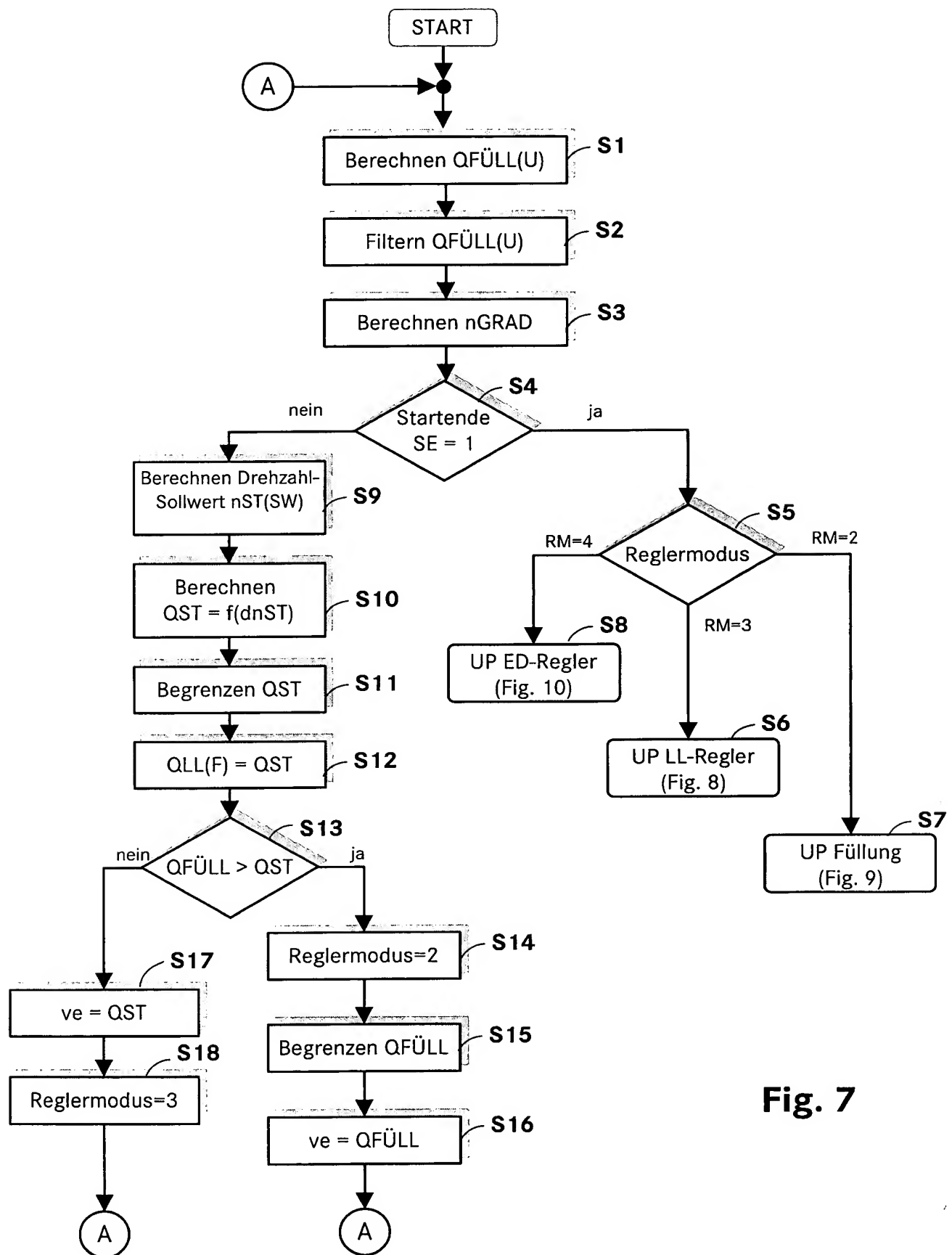


Fig. 7

5 / 12

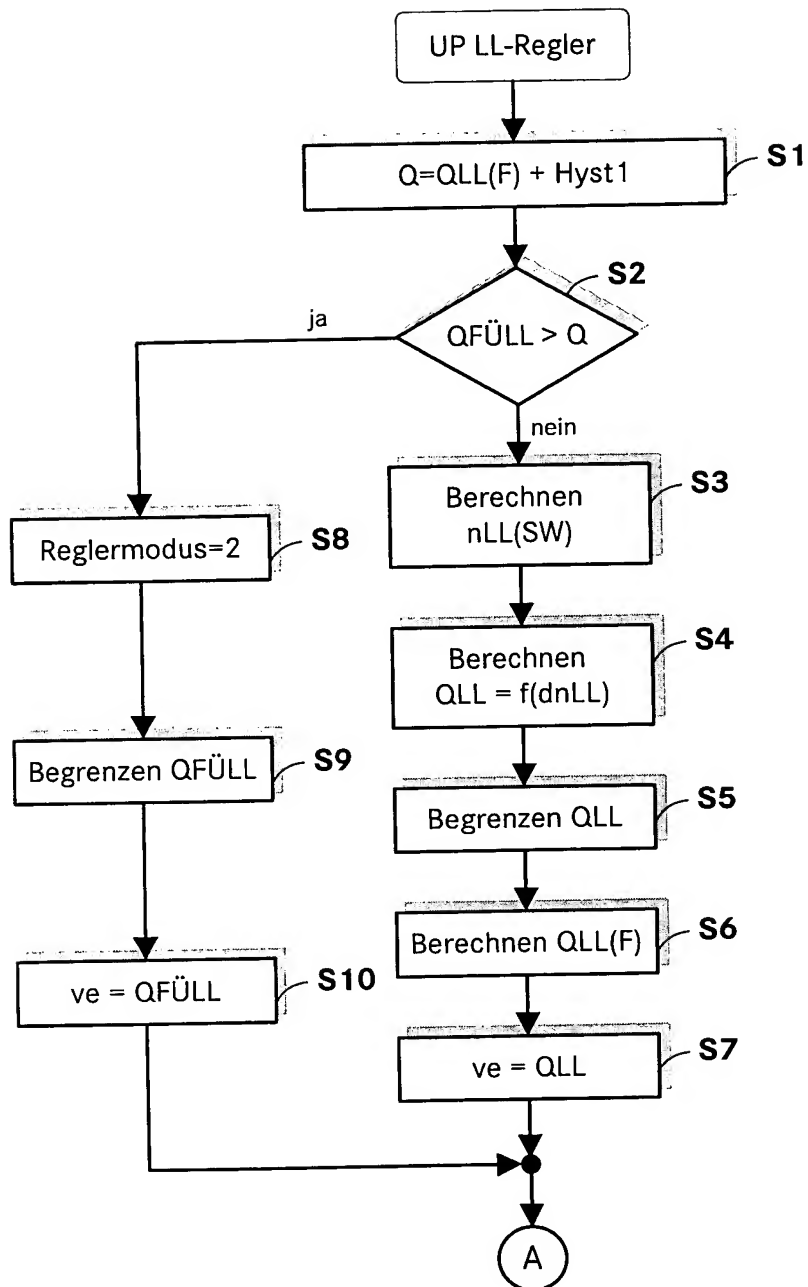


Fig. 8

6 / 12

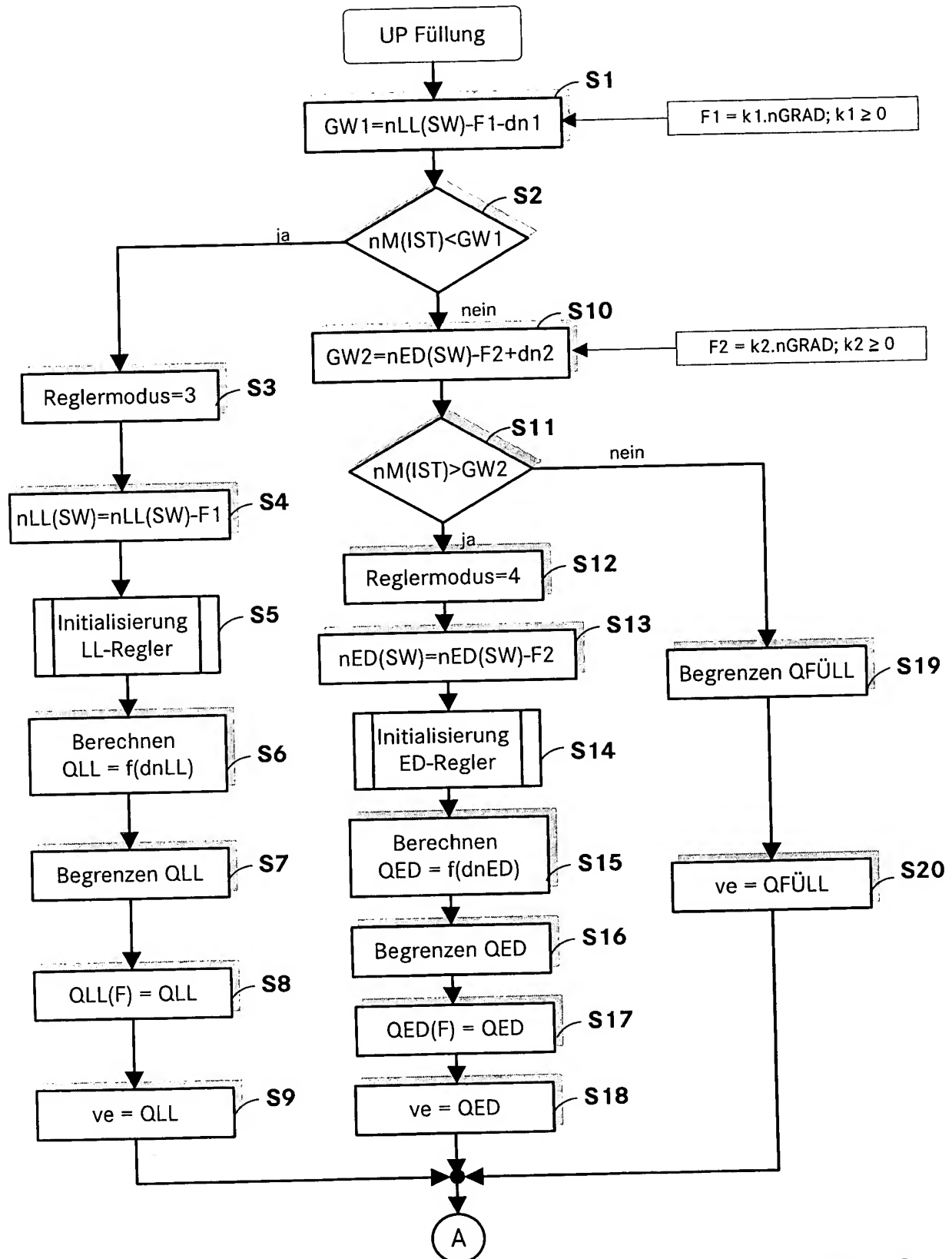


Fig. 9

7 / 12

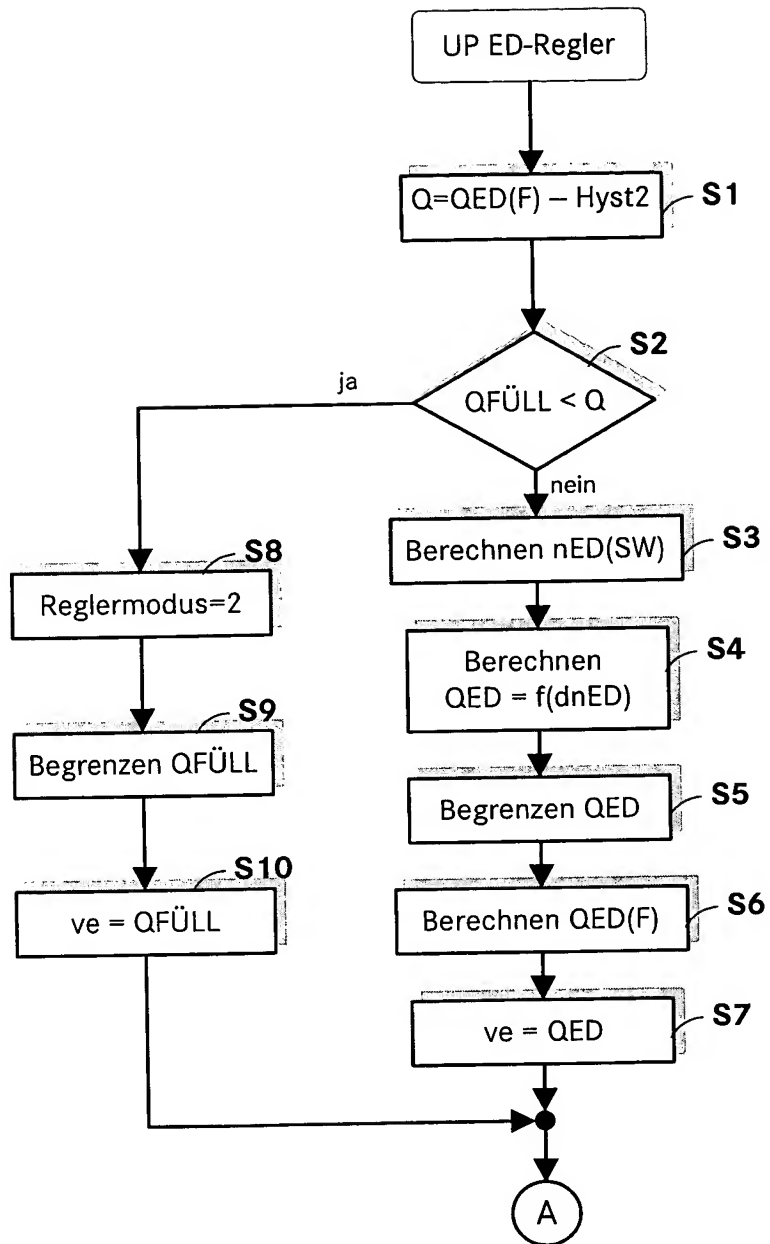


Fig. 10

8 / 12

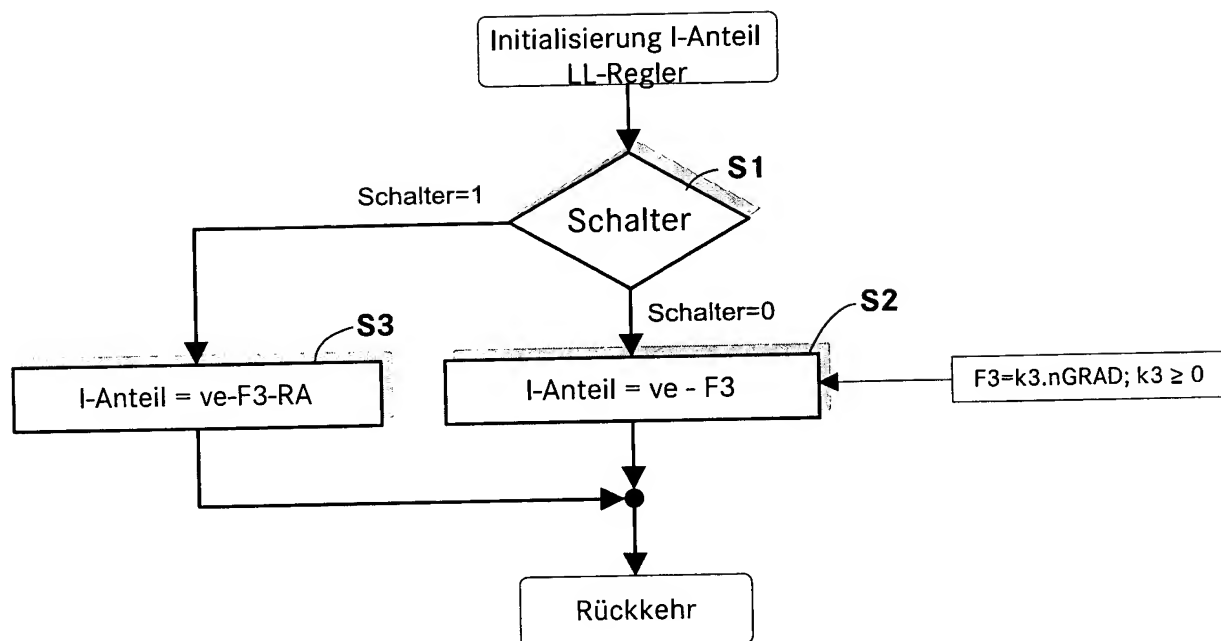


Fig. 11A

9 / 12

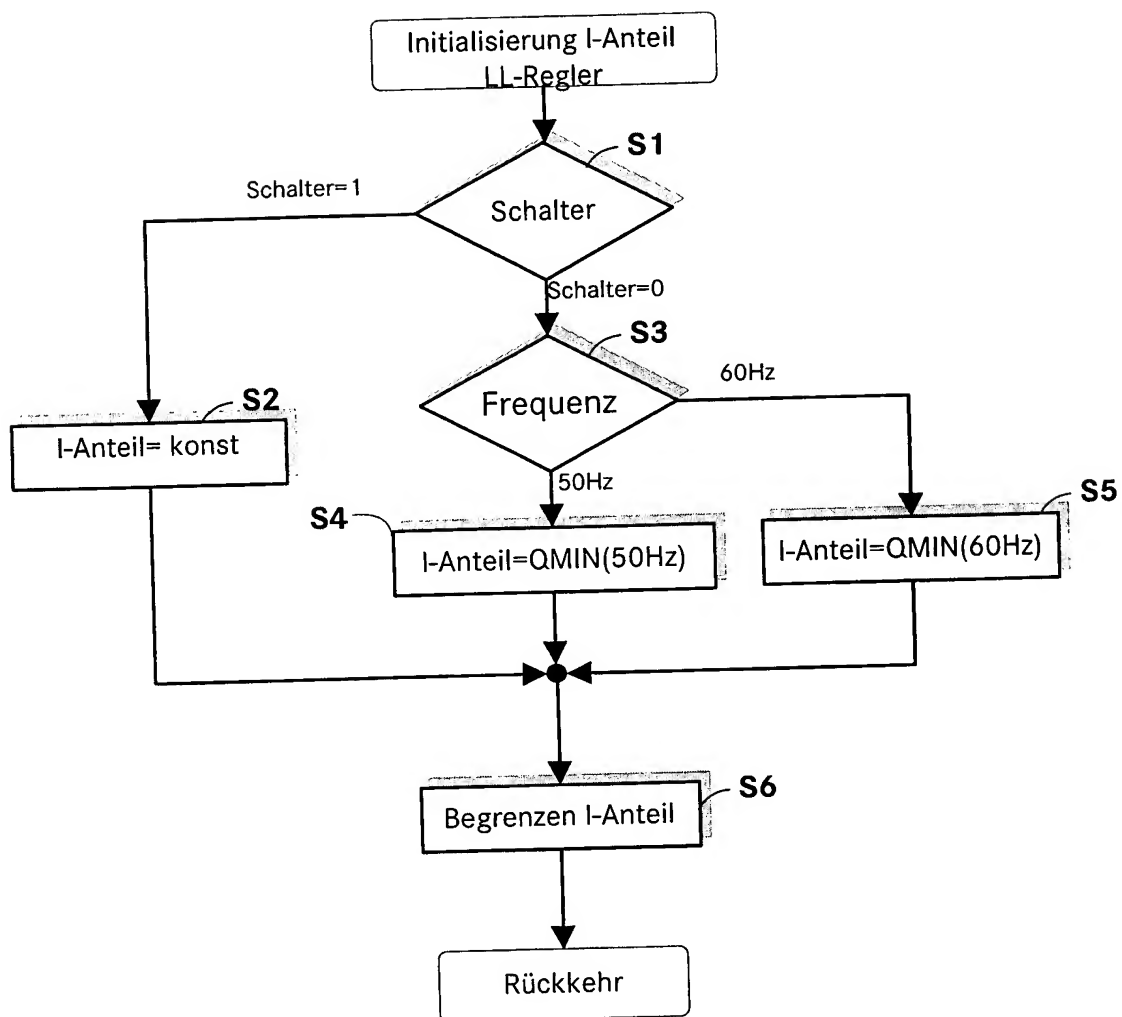
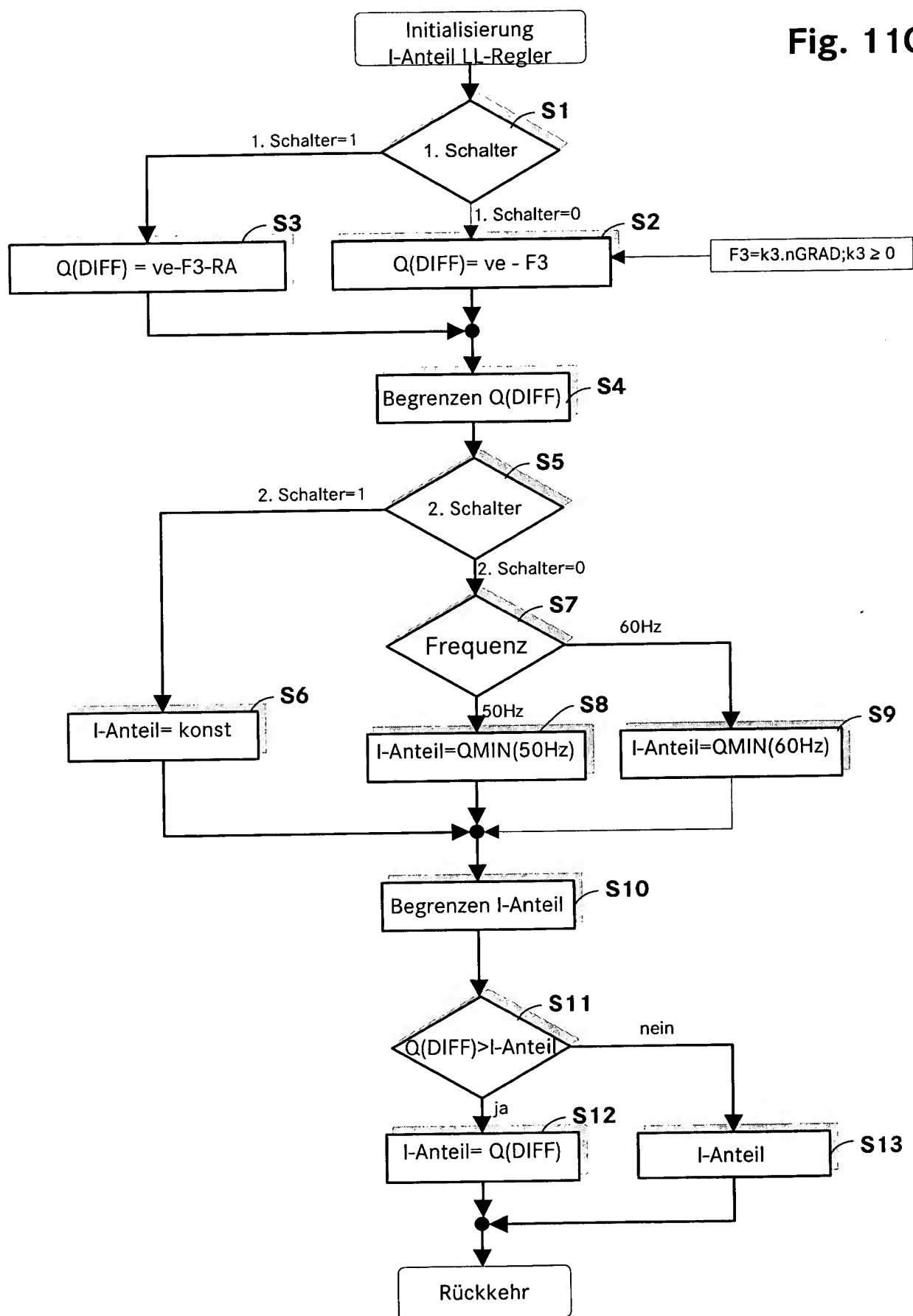


Fig. 11B

10 / 12

Fig. 11C



11 / 12

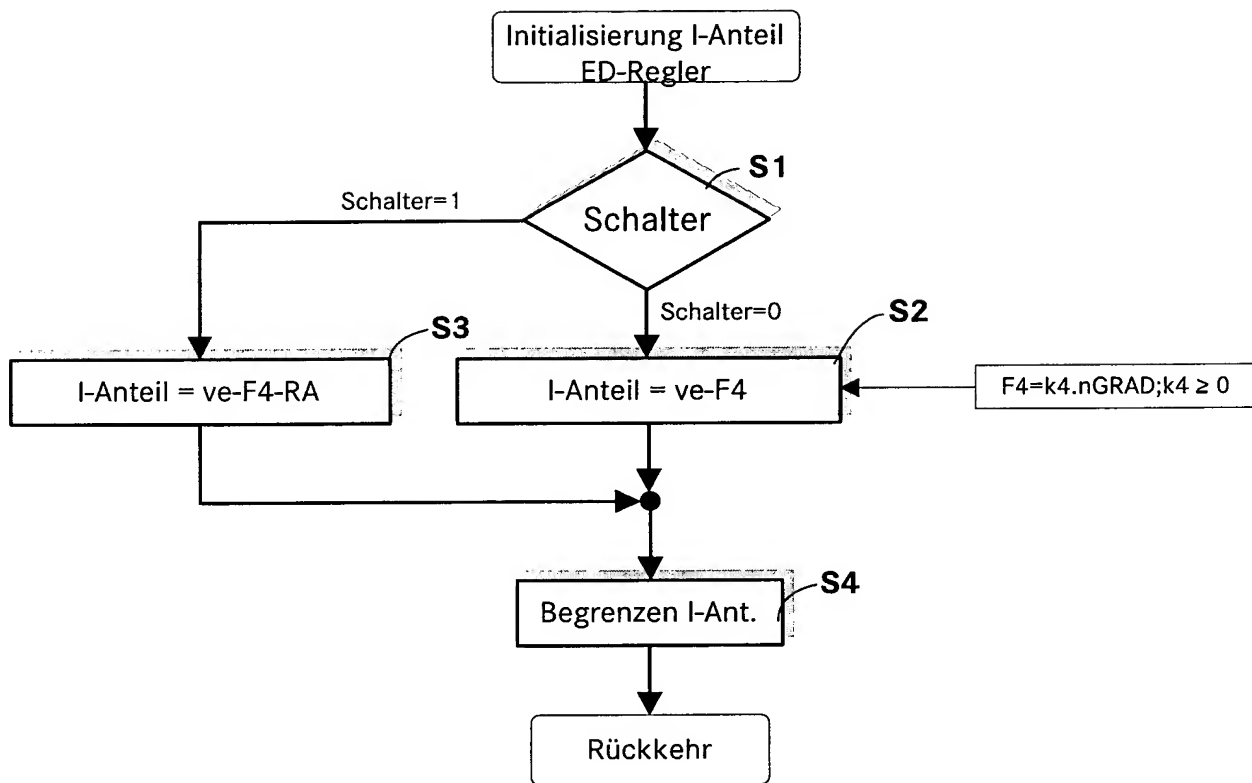


Fig. 12

12 / 12

